

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 8 月 18 日 (18.08.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/076440 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H02K 21/16, 1/14, 1/22, 29/00  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/001597  
(22) 国際出願日: 2005 年 2 月 3 日 (03.02.2005)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2004-029016 2004 年 2 月 5 日 (05.02.2004) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 番 5 号 Tokyo (JP).  
(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 藤原 謙二 (FUJIWARA, Kenji) [JP/JP]; 〒6520854 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1 号 三菱重工業株式会社神戸

造船所内 Hyogo (JP). 小暮 孝敏 (KOGURE, Takatoshi) [JP/JP]; 〒6520854 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1 号 三菱重工業株式会社神戸造船所内 Hyogo (JP). 西尾 章 (NISHIO, Akira) [JP/JP]; 〒6520854 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1 号 三菱重工業株式会社神戸造船所内 Hyogo (JP). 馬場 功 (BABA, Tutomu) [JP/JP]; 〒6520863 兵庫県神戸市兵庫区和田宮通七丁目 1 番 1 4 号 西菱エンジニアリング株式会社内 Hyogo (JP).

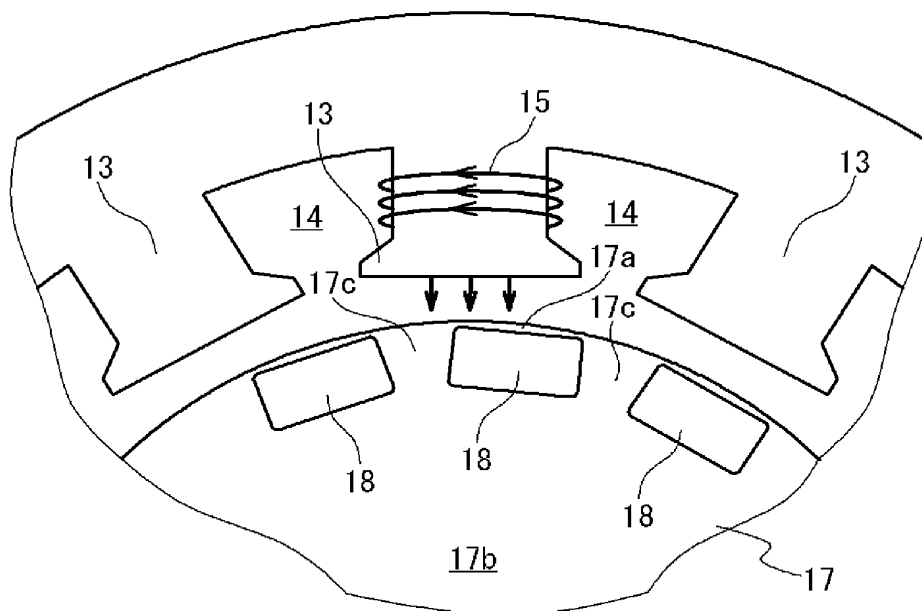
(74) 代理人: 工藤 実 (KUDOH, Minoru); 〒1400013 東京都品川区南大井六丁目 2 4 番 1 0 号 カドヤビル 6 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,

[続葉有]

(54) Title: IPM ROTATING ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: IPM回転電機



(57) Abstract: A technique enabling permanent magnets constituting the field of an IPM rotating electric machine to be embedded in a rotor core in a shallower depth. The IPM rotating electric machine includes a stator and a rotor. The rotor has a rotor core and permanent magnets forming the field. The rotor core has a side face facing the stator, and the permanent magnets are shallowly embedded in the rotor core such that the distance between its magnetic pole face and the side face of the rotor is reduced. Furthermore, two adjacent permanent magnets are positively separated to satisfy the relation of  $0.3 < (L_q - L_d)/L_d$ , where  $L_q$  is the q-axis inductance and  $L_d$  is the d-axis inductance of the rotor.

[続葉有]

WO 2005/076440 A1



LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 本発明は、IPM回転電機の界磁を構成する永久磁石を、一層に浅くロータ鉄心に埋め込むことを可能にする技術を提供する。本発明によるIPM回転電機は、ステータと、ロータとを含む。ロータは、ロータ鉄心と、界磁を構成する複数の永久磁石とを備えている。ロータ鉄心は、ステータに対向する側面を有し、永久磁石は、その磁極面とロータ側面との距離が小さくなるように、ロータ鉄心に浅く埋め込まれている。更に、隣接する2つの永久磁石は、ロータのq軸インダクタンス $L_q$ 、及びd軸インダクタンス $L_d$ を用いて記述される下記式:  
$$0.3 < (L_q - L_d) / L_d$$
を満足するように積極的に離されている。

## 明 細 書

### IPM回転電機

### 技術分野

[0001] 本発明は、IPM (Interior Permanent Magnet) モータ及びIPM発電機のような、IPM回転電機に関する。

### 背景技術

[0002] IPMモータは、ロータ鉄心の内部に永久磁石が埋め込まれたブラシレスモータである。IPMモータは、体積あたりの出力トルクが大きく、且つ、入力電圧が小さいという特長を有している。このような特長を有するIPMモータは、電気自動車の駆動用モータへの応用が好適である。

[0003] IPMモータは、外部から動力を供給することにより発電機としても機能する。IPMモータが発電機として機能することは、電気自動車への応用において特に重要である。以下においてIPMモータとIPM発電機とを区別する必要がない場合、これらはIPM回転電機と記述される。

[0004] IPM回転電機は、大きな出力トルクが得られることが望ましい。大きな出力トルクを得るためのIPMモータの構造が、特開2002-153033号公報に開示されている。公知のそのIPMモータは、界磁を構成する永久磁石がロータ鉄心に浅く埋められている。このような構造は、大きなマグネットトルクを得ることを可能にする上に、補助的なリラクタンストルクを得ることを可能にし、IPMモータの出力トルクを有効に増大する。上記の文献は、マグネットトルクを増大させるために、電機子巻線に鎖交する磁束の磁束密度を高めることが好適であることを開示している。更に、上記の文献1は、永久磁石をロータ鉄心に浅く埋め込むことにより、q軸インダクタンス $L_q$ とd軸インダクタンス $L_d$ とに、下記関係：

$$0 \leq (L_q - L_d) / L_d < 0.3,$$

を成立させることが好適であることを開示している。

### 発明の開示

[0005] 本発明の目的は、一層に大きな出力トルクを得るためのIPM回転電機のロータ構

造を提供することにある。

- [0006] 本発明の一の観点において、IPM回転電機は、ステータと、ロータとを含む。ロータは、ロータ鉄心と、界磁を構成する複数の永久磁石とを備えている。ロータ鉄心は、ステータに対向する側面を有し、永久磁石は、側面に面する磁極面を有している。永久磁石は、磁極面と側面との距離の最大値 $x$ が、ロータの半径 $r$ と前記界磁の極数 $n_1$ とを用いて表される下記式(1a)、(1b)：

$$x \leq D/10, \quad \dots (1a)$$

$$D = 2\pi r/n_1, \quad \dots (1b)$$

を満足する程度にロータ鉄心に浅く埋め込まれている。更に、前記界磁の隣接する2極をそれぞれに構成する、隣接する2つの永久磁石は、ロータの $q$ 軸インダクタンス $L_q$ 、及び $d$ 軸インダクタンス $L_d$ を用いて記述される下記式(2)：

$$0.3 < (L_q - L_d)/L_d, \quad \dots (2)$$

を満足するように積極的に離されている。かかるIPM回転電機は、永久磁石がロータ鉄心に浅く埋め込まれているため、マグネットトルクが大きい。当該IPM回転電機は、更に、ロータ鉄心の、隣接する2つの永久磁石の間に位置する磁石間鉄心部分の体積が大きく、該磁石間鉄心部分に作用するリラクタンストルクが大きい。これらの作用により、当該IPM回転電機は、マグネットトルクとリラクタンストルクの和である出力トルクを増大させることができる。

- [0007] ステータに、3相電流が供給される場合には、界磁の極数 $n_1$ と、ステータに設けられるスロットの数 $n_2$ とは、下記組み合わせ：

$$n_1 = 12, n_2 = 9,$$

$$n_1 = 14, n_2 = 12,$$

$$n_1 = 16, n_2 = 12,$$

$$n_1 = 16, n_2 = 18,$$

$$n_1 = 20, n_2 = 15,$$

$$n_1 = 20, n_2 = 18,$$

$$n_1 = 20, n_2 = 21,$$

$$n_1 = 22, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 18,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 27,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 30, n_2 = 27,$$

のいずれかであることが好適である。これらの組み合わせは、永久磁石がロータ鉄心  
に浅く埋め込まれたIPM回転電機の特性を特異的に向上させる。

[0008] 前記ステータに、5相電流が供給される場合には、極数 $n_1$ と、スロットの数 $n_2$ とは、  
下記組み合わせ：

$$n_1 = 12, n_2 = 10,$$

$$n_1 = 14, n_2 = 10,$$

$$n_1 = 22, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 18, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 30,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 30,$$

のいずれかであることが好適である。これらの組み合わせは、永久磁石がロータ鉄心  
に浅く埋め込まれたIPM回転電機の特性を特異的に向上させる。

[0009] 本発明により、一層に大きな出力トルクを得るためのIPM回転電機のロータ構造が  
提供される。

#### 図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、本発明によるIMP回転電機の実施の第1形態を示す。

[図2]図2は、ロータ12の拡大図である。

[図3]図3は、永久磁石18の配置を説明する図である。

[図4]図4は、本発明によるIMP回転電機の実施の第2形態を示す。

発明を実施するための最良の形態

[0011] 以下、添付図面を参照しながら、本発明によるIPM回転電機の実施の形態を説明する。

[0012] (実施の第1形態)

本発明の実施の第1形態では、図1に示されているように、IPMモータ10は、ステータ11とロータ12とを含む。ステータ11は、ロータ12のロータ側面12aに対向する。ステータ11は、電磁的作用によってロータ12にトルクを与え、ロータ12を中心軸12bの周りに回転させる。IPMモータ10は、外部から動力を供給することにより発電機としても機能する。

[0013] ロータ12に与えられるトルク、即ち、IPMモータ10から出力される出力トルクは、マグネットトルクとリラクタンストルクとの両方の成分を含む。IPMモータ10は、ロータ12との構造の最適化により、マグネットトルクとリラクタンストルクとの和(即ち、出力トルク)が大きくなるように設計されている。ステータ11とロータ12との構造が、以下に詳細に説明される。

[0014] ステータ11は、電機子歯 $13_1 \sim 13_{12}$ を含む。以下において、電機子歯 $13_1 \sim 13_{12}$ は、互いに区別される必要がない場合には電機子歯13と表記される。電機子歯13は、同一円周上に等間隔に配置されている。隣接する2つの電機子歯13の間には、スロット14が形成されている。スロット14は、同一円周上に等間隔に配置されることになる。

[0015] 電機子歯 $13_1 \sim 13_{12}$ には、それぞれ、電機子巻線 $15_1 \sim 15_{12}$ が巻かれている。ステータ11の内側に回転磁界を発生するために、電機子巻線 $15_1 \sim 15_{12}$ には、三相の電機子電流が供給される。詳細には、電機子巻線 $15_1, 15_2, 15_7, 15_8$ には、U相電流が供給され、電機子巻線 $15_3, 15_4, 15_9, 15_{10}$ には、V相電流が供給され、電機子コイル $15_5, 15_6, 15_{11}, 15_{12}$ には、W相電流が供給される。電機子巻線 $15_1, 15_4, 15_5, 15_8, 15_9, 15_{12}$ は、第1方向に(例えば、時計周りに)電機子電流が流れるように巻かれており、電機子巻線 $15_2, 15_3, 15_6, 15_7, 15_{10}, 15_{11}$ は、第1方向と逆の第2方向に(例えば、反時計周りに)電機子電流が流れるように巻かれている。電機子巻線 $15_1 \sim 15_{12}$ は、互いに区別される必要がない場合には、電機子巻線15と表記される。

- [0016] 電機子巻線15は、集中巻きで電機子歯13に巻かれている。電機子コイル15が集中巻きで巻かれることは、体積あたりのIPMモータ10のトルクを大きくし、好適である。
- [0017] ロータ12は、シャフト16とロータ鉄心17とを含む。シャフト16は、図示されない軸受によって回転可能に支持されている。ロータ鉄心17は、シャフト16に固定的に接合され、シャフト16と同体で回転する。ロータ鉄心17は、珪素鋼板のような磁性材料で形成されている。
- [0018] ロータ鉄心17には、永久磁石18が挿入されている。永久磁石18のそれぞれは、ロータ12の界磁の一極を構成し、ロータ12の半径方向に磁力線を発生する。隣接する2つの永久磁石18は、互いに逆の方向の磁力線を発生する、即ち、隣接する2つの永久磁石18の極性は逆である。本実施の形態では、永久磁石18の数、即ち、界磁の極数 $n_1$ は14である。
- [0019] 図2に示されているように、ロータ鉄心17には、永久磁石18の半径方向外側に位置する部分17a(磁力線誘導部分17a)が設けられる。磁力線誘導部分17aは、その円周方向の端において、鉄心本体17bに結合されている。この磁力線誘導部分17aの存在は、弱め界磁制御を実現するために重要である。当業者に周知であるように、IPMモータを高い回転数で運転する場合には、電機子電流の位相を進めて界磁を弱める弱め界磁制御が行われる。この磁力線誘導部分17aの存在は、弱め界磁制御を行うことを容易にする。磁力線誘導部分17aが存在しないSPMモータ(surface permanent magnet)モータでは、弱め界磁制御の実現は難しい。
- [0020] 一般的なIPMモータとは異なり、本実施の形態のIPMモータでは、永久磁石18のロータ側面12aからの埋め込み深さ(即ち、半径方向外側の磁極面18aの上の点から、ロータ側面12aへの距離の最大値)が浅い。定量的に表現すれば、永久磁石18は、その埋め込み深さ $x$ が、ロータ12の半径 $r$ と極数 $n_1$ とを用いて表される下記式(1a), (1b):
- $$x \leq D/10, \quad \dots (1a)$$
- $$D = 2\pi r/n_1, \quad \dots (1b)$$

を満足するような浅い位置に埋め込まれる。

[0021] 永久磁石18が浅く埋め込まれることは、弱め界磁制御を行いつつ、IPMモータ10のマグネットトルクを有効に活用するために有用である。永久磁石18が浅く埋め込まれることにより、永久磁石18が生成する磁束は電機子巻線15に多く鎖交され、マグネットトルクが増大される。マグネットトルクが活用されることは、出力トルクを増大に有用である。

[0022] 加えて、本実施の形態のIPMモータでは、図3に示されているように、ロータ鉄心17の、隣接する永久磁石18の間に位置する磁石間鉄心部分17cに作用するリラクタンストルクを有効に利用することにより、出力トルクが増大が図られている。

[0023] 具体的には、磁石間鉄心部分17cに作用するリラクタンストルクを増大させるために、磁石間鉄心部分17cの永久磁石18の磁極面18aの円周方向の幅が狭められ、隣接する永久磁石18の間の距離が積極的に増大されている。このように永久磁石18の配置を定めることにより、磁石間鉄心部分17cの体積が増大され、磁石間鉄心部分17cに作用するリラクタンストルクを増大することができる。

[0024] 定性的には、隣接する2つの永久磁石18は、下記式(2)：

$$0.3 < (L_q - L_d) / L_d, \quad \dots (2)$$

を満足する程度に離されている。ここにおいて、 $L_q$ は、ロータ12のq軸インダクタンス $L_q$ であり、 $L_d$ は、d軸インダクタンスである。q軸インダクタンス $L_q$ は、隣接する2つの永久磁石18の間の距離が大きくなるほど単調に増大されるから、 $(L_q - L_d) / L_d$ が0.3よりも大きいことは、隣接する2つの永久磁石18の間の距離が増大されることと等価である。 $(L_q - L_d) / L_d$ の上限は、ロータ12の物理的限界に基づいて決定される。 $(L_q - L_d) / L_d$ が4よりも大きいIPMモータを形成することは実質的に困難であり、現実的には、 $(L_q - L_d) / L_d$ は4以下に制限される。

[0025] 磁石間鉄心部分17cに作用するリラクタンストルクを利用するという本実施の形態の技術は、背景技術で言及された文献に開示された技術とは、全く異なる技術的思想に基づくものである。上記の文献は、マグネットトルクを増大させるために、電機子巻線に鎖交する磁束の磁束密度を高めることが好適であることを開示している。一方、本実施の形態のIPMモータでは、磁石間鉄心部分17cの永久磁石18の磁極面18a



の円周方向の幅を積極的に減少させ、電機子巻線15に鎖交する磁束を少なくしている。これは、マグネットトルクの減少を招く。しかしながら、本実施の形態のIPMモータでは、隣接する2つの永久磁石18の間の距離を増大させることによって磁石間鉄心部分17cに作用するリラクタンストルクが増大され、全体としては、その出力トルクを増大することが可能である。

- [0026] 永久磁石18が浅く埋め込まれることは、2つの永久磁石18の間の距離を増大させてリラクタンストルクを有効に利用する構成において効果的である。本実施の形態のIPMモータ10のリラクタンストルク $T_R$ は、下記式(3)：

$$T_R = K(L_q - L_d)I_q I_d, \quad \dots (3)$$

で表される。Kは定数であり、 $I_q$ 、 $I_d$ は、それぞれ電機子巻線15を流れるq軸電流、及びd軸電流である。隣接する永久磁石18の間の距離を大きくすると、q軸インダクタンス $L_q$ が増大されるから、式(3)から理解されるように、隣接する永久磁石18の間の距離を大きくすることにより、出力トルクを増大することができる。これに加えて永久磁石18が浅く埋め込まれることは、d軸インダクタンス $L_d$ を減少させる。式(3)から理解されるように、d軸インダクタンス $L_d$ の減少は、リラクタンストルク $T_R$ を増大させる。更に、d軸インダクタンス $L_d$ の減少は、d軸電流 $I_d$ を増加させ、式(3)から理解されるようにリラクタンストルク $T_R$ を増大させる。

- [0027] 以上に説明されているように、本実施の形態では、永久磁石18を浅く埋め込み、且つ、隣接する永久磁石18の間の距離が積極的に増大されている。これにより、磁石間鉄心部分17に作用するリラクタンストルクが増大され、以ってIPMモータ10の出力トルクが増大されている。加えて、永久磁石18が浅く埋め込まれていることにより、d軸インダクタンス $L_d$ が減少され、磁石間鉄心部分17に作用するリラクタンストルクが一層に増大されている。

- [0028] 上述のように、一般的なIPMモータとは異なり、本実施の形態のIPMモータ10は、マグネットトルクと、磁石間鉄心部分17cに作用するリラクタンストルクとの両方を有効に利用する。永久磁石18の埋め込み深さが浅いこと、及び隣接する永久磁石18の間の距離が積極的に増大されていることに起因している。

- [0029] このようなIPMモータ10の特殊性を生かすためには、ロータ12の極数 $n_1$ と、スロット

14の数 $n_2$  (即ち、電機子歯13の数)とが、下記組み合わせ:

$$n_1 = 12, n_2 = 9,$$

$$n_1 = 14, n_2 = 12,$$

$$n_1 = 16, n_2 = 12,$$

$$n_1 = 16, n_2 = 18,$$

$$n_1 = 20, n_2 = 15,$$

$$n_1 = 20, n_2 = 18,$$

$$n_1 = 20, n_2 = 21,$$

$$n_1 = 22, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 18,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 27,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 30, n_2 = 27,$$

のいずれかであることが好適である。当業者にとって周知であるように、3相のIPMモータは、極数 $n_1$ は偶数であり、スロット数 $n_2$ は3の倍数であり、且つ、極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ とは異ならなくてはならない。極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ は、これらの条件を満たす様々な組み合わせが考えられる。しかし、上述の組み合わせは、永久磁石18の埋め込み深さが浅いIPMモータ10において特異的に有利である。その理由が、以下に説明される。

[0030] 第1に、これらの組み合わせは、いずれも、極数 $n_1$ が比較的に大きい。上述の文献に記載されているように、極数 $n_1$ が大きいことは、界磁が発生する磁力線のうち電機子コイルに鎖交する成分を多くし、IPMモータ10の出力トルクの主成分たるマグネットトルクを増加するために有効である。

[0031] 第2に、これらの組み合わせは、極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ との差が小さいため、界磁の1極を構成する永久磁石18を、単一の電機子歯13と正対しやすくする。具体的には、上記組み合わせでは、極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ との差は高々5である。これは、IPMモータ10の出力トルクの主成分たるマグネットトルクを増加するために有効である。極

数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ との差が小さいことは、巻線係数を大きくするためにも有効である。巻線係数が大きいことは、永久磁石18が発生する磁力線をより多く電機子コイル15に鎖交させ、マグネットトルクを増加させる。定量的には、上記組み合わせは、いずれも、巻線係数を0.94以上にすることを可能にする。

[0032] 第3に、これらの組み合わせは、ステータ起磁力の基本波成分に対する巻線係数を大きくし、かつ高調波成分にたいする巻線係数を小さく設計することを可能にする。このため、特にこれらの組み合わせは、IPMモータ10の出力を大きくする。

[0033] 上記の極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ との組み合わせは、これらの有利性を全て具備しており、永久磁石18の埋め込み深さが浅いIPMモータ10において有利である。

[0034] (実施の第2形態)

図4に示されているように、実施の第2形態では、本発明が5相のIPMモータ30に適用される。5相のIPMモータは、3相のIPMモータよりも、それを駆動するのに必要なインバータの能力及びキャパシタの容量を小さくできるためで好適である。IPMモータ30は、ステータ31とロータ32とを備えている。

[0035] ステータ31は、電機子歯33を含む。電機子歯33は、同一円周上に等間隔に配置されている。隣接する2つの電機子歯33の間には、スロット34が形成されている。スロット34は、同一円周上に等間隔に配置されることになる。本実施の形態では、スロットの数 $n_2$ は、20である。電機子歯33のそれぞれには、電機子コイル35が巻かれている。ステータ11の内側に回転磁界を発生するために、電機子コイル35には、5相の電機子電流が供給される。

[0036] ロータ32の構造は、永久磁石18の数が異なる点以外、実施の第1形態のロータ12の構造と同一である。本実施の形態では、永久磁石18の数(即ち、界磁の極数)は、22である。永久磁石18は、その埋め込み深さ $x$ が、下記式:

$$x \leq D/10, \quad \dots (1a)$$

$$D = 2\pi r/n_1, \quad \dots (1b)$$

を満足するような浅い位置に埋め込まれる。 $r$ は、ロータ12の半径であり、 $n_1$ は、界磁の極数である。更に、隣接する2つの永久磁石18は、下記式(2):

$$0.3 < (L_q - L_d)/L_d, \quad \dots (2)$$

を満足する程度に離されている。

[0037] ロータ32の極数 $n_1$ と、スロット34の数 $n_2$  (即ち、電機子歯33の数)とは、下記組み合わせ:

$$n_1 = 12, n_2 = 10,$$

$$n_1 = 14, n_2 = 10,$$

$$n_1 = 22, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 18, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 30,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 30,$$

のいずれかであることが好適である。当業者にとって周知であるように、5相のIPMモータは、極数 $n_1$ は偶数であり、スロット数 $n_2$ は10の倍数であり、且つ、極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ とは異ならなくてはならない。極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ は、これらの条件を満たす様々な組み合わせが考えられる。しかし、上述の組み合わせは、永久磁石18の埋め込み深さが浅いIPMモータ30において特異的に有利である。

[0038] 第1に、これらの組み合わせは、いずれも、極数 $n_1$ が比較的に大きい。上記の文献に記載されているように、極数 $n_1$ が大きいことは、界磁が発生する磁力線のうち電機子コイルに鎖交する成分を多くし、IPMモータ30の出力トルクの主成分たるマグネットトルクを増加するために有効である。

[0039] 第2に、これらの組み合わせは、界磁の1極を構成する永久磁石18を、単一の電機子歯33と正対しやすくする。これは、IPMモータ10の出力トルクの主成分たるマグネットトルクを増加するために有効である。これらの組み合わせは、永久磁石18が発生する磁力線をより多く電機子コイル35に鎖交させ、マグネットトルクを増加させる。

[0040] 第3に、これらの組み合わせは、ステータ起磁力の基本波成分に対する巻線係数を大きくし、かつ高調波成分にたいする巻線係数を小さく設計することを可能にする。このため、特にこれらの組み合わせは、IPMモータ30の出力を大きくする。

- [0041] 上記の極数 $n_1$ とスロット数 $n_2$ との組み合わせは、これらの有利性を全て具備しており、永久磁石18の埋め込み深さが浅いIPMモータ30において有利である。
- [0042] なお、実施の第1形態、第2形態のいずれにおいても、界磁の1極を構成する永久磁石18は、同一の方向に磁力線を発生する複数の永久磁石片で構成され得る。この場合、永久磁石片の間には、磁力線誘導部分17aと鉄心本体17bとを連結するブリッジ部分が形成される。ブリッジ部分の形成は、磁力線誘導部分17aと鉄心本体17bとの連結強度を向上し、ロータ12の機械的強度を有効に向上する。

## 請求の範囲

- [1]       ステータと、  
           ロータ鉄心と、界磁を構成する複数の永久磁石とを備えたロータ  
           とを含み、  
           前記ロータ鉄心は、前記ステータに対向する側面を有し、  
           前記永久磁石は、前記側面に面する磁極面を有し、  
           前記永久磁石は、前記磁極面と前記側面との距離の最大値 $x$ が、前記ロータの半  
           径 $r$ と前記開示の極数 $n_1$ とを用いて表される下記式(1a)、(1b):  

$$x \leq D/10, \quad \dots (1a)$$

$$D = 2\pi r/n_1, \quad \dots (1b)$$
           を満足するように前記ロータ鉄心に埋め込まれ、  
           前記界磁の隣接する2極をそれぞれに構成する、隣接する2つの前記永久磁石は  
           、前記ロータの $q$ 軸インダクタンス $L_q$ 、及び $d$ 軸インダクタンス $L_d$ を用いて記述される下  
           記式(2):  

$$0.3 < (L_q - L_d)/L_d, \quad \dots (2)$$
           を満足するように離されている  
           IPM回転電機。
- [2]       請求項1に記載のIPM回転電機において、  
           前記ステータには3相電流が供給され、  
           前記界磁の極数 $n_1$ と、前記ステータに設けられたスロットの数 $n_2$ とは、下記組み合  
           わせ:
- $n_1 = 12, n_2 = 9,$   
 $n_1 = 14, n_2 = 12,$   
 $n_1 = 16, n_2 = 12,$   
 $n_1 = 16, n_2 = 18,$   
 $n_1 = 20, n_2 = 15,$   
 $n_1 = 20, n_2 = 18,$   
 $n_1 = 20, n_2 = 21,$

$$n_1 = 22, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 18,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 27,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 24,$$

$$n_1 = 30, n_2 = 27,$$

のいずれかである

IPM回転電機。

[3] 請求項1に記載のIPM回転電機において、

前記ステータには、5相電流が供給され、

前記界磁の極数 $n_1$ と、前記ステータに設けられたスロットの数 $n_2$ とは、下記組み合わせ:

$$n_1 = 12, n_2 = 10,$$

$$n_1 = 14, n_2 = 10,$$

$$n_1 = 22, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 18, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 24, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 26, n_2 = 20,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 20,$$

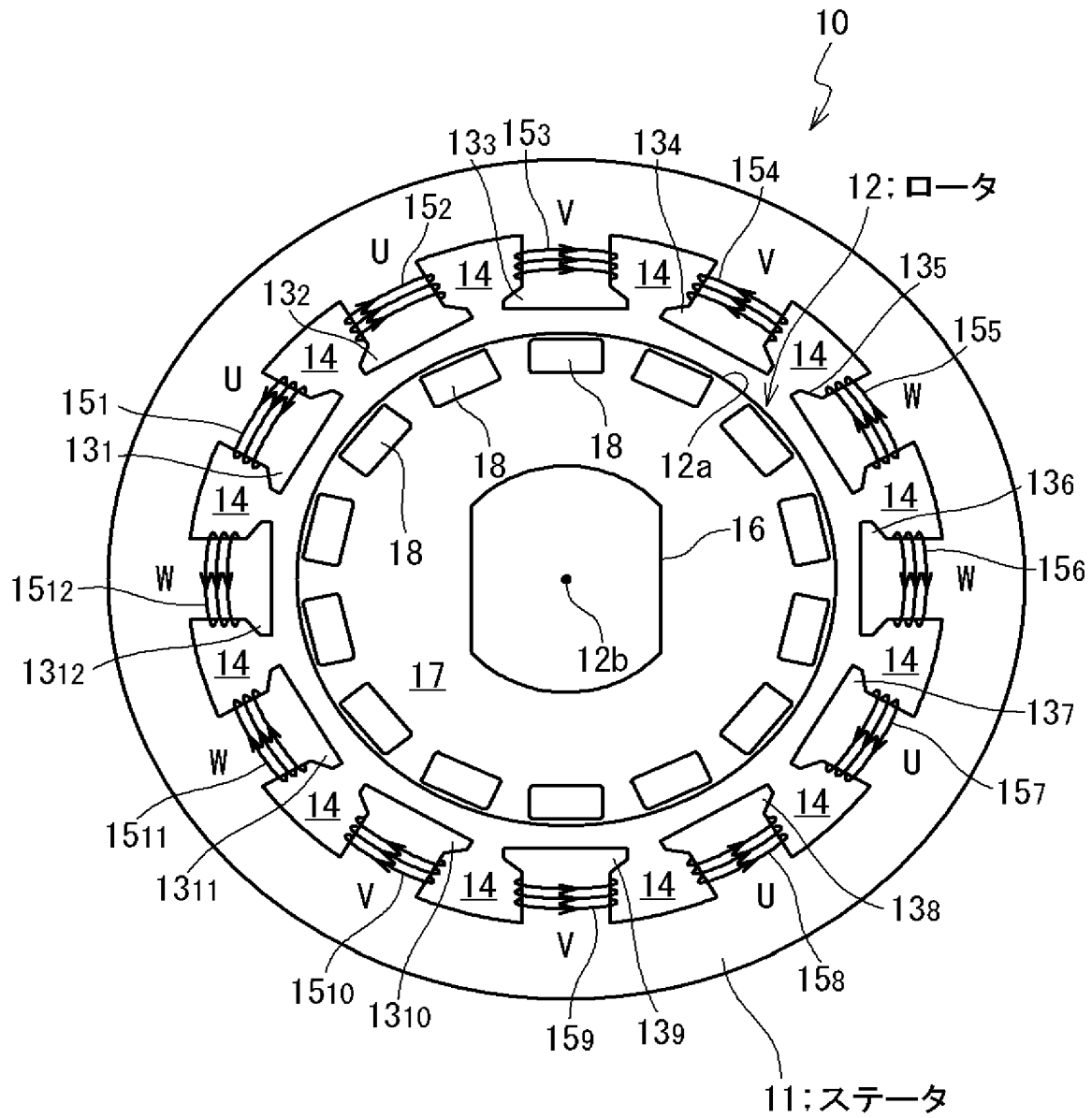
$$n_1 = 26, n_2 = 30,$$

$$n_1 = 28, n_2 = 30,$$

のいずれかである

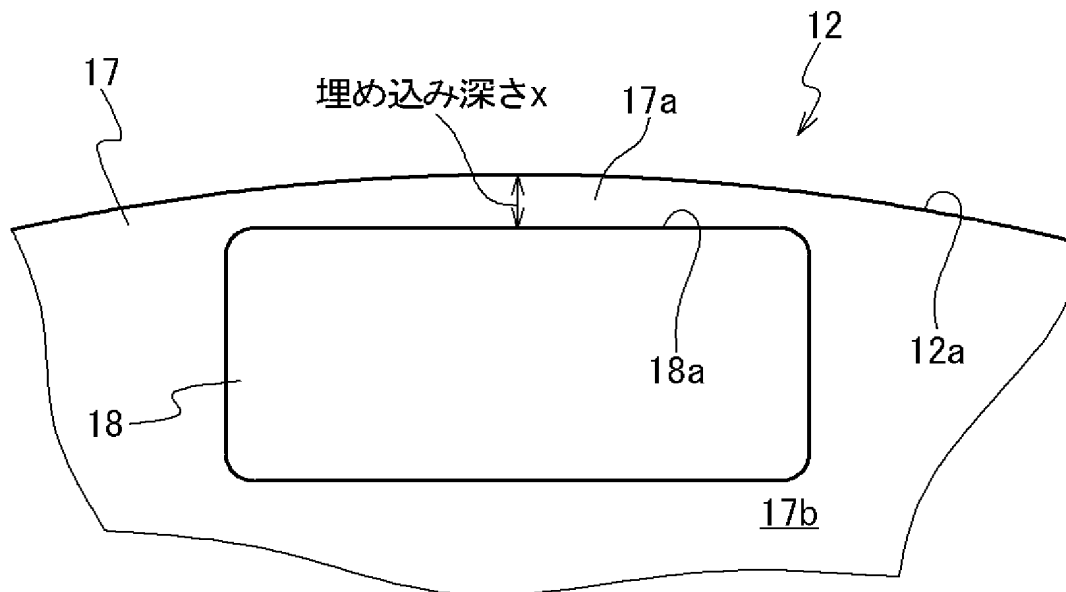
IPM回転電機。

[図1]

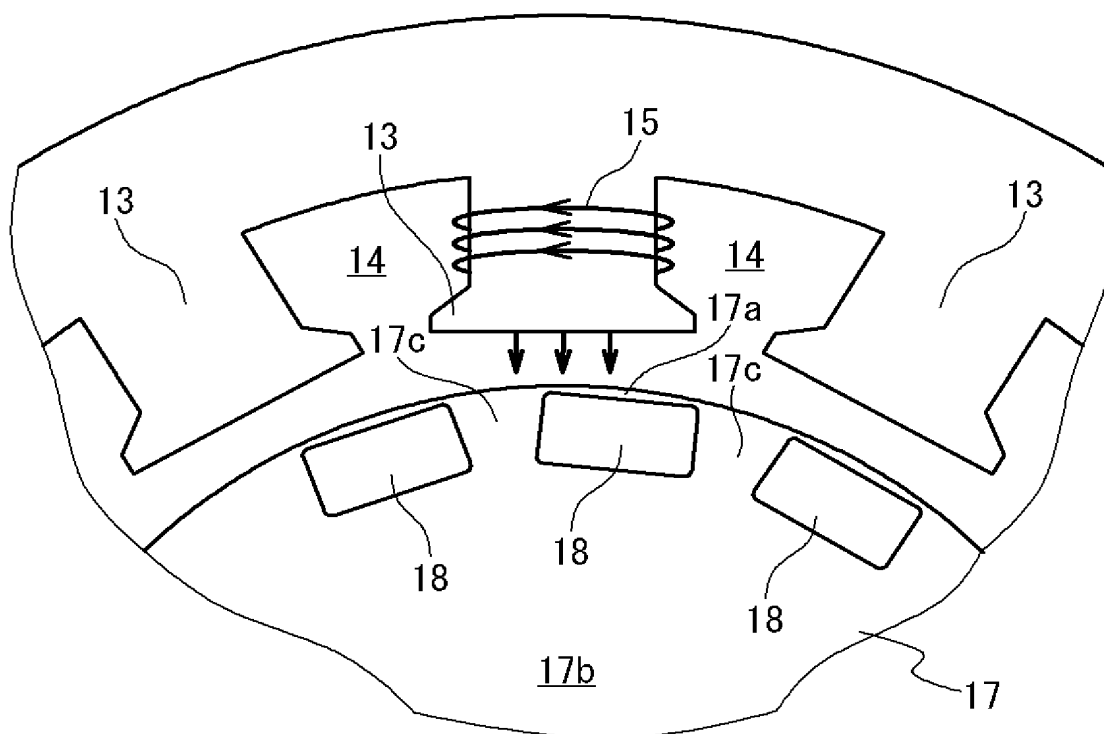




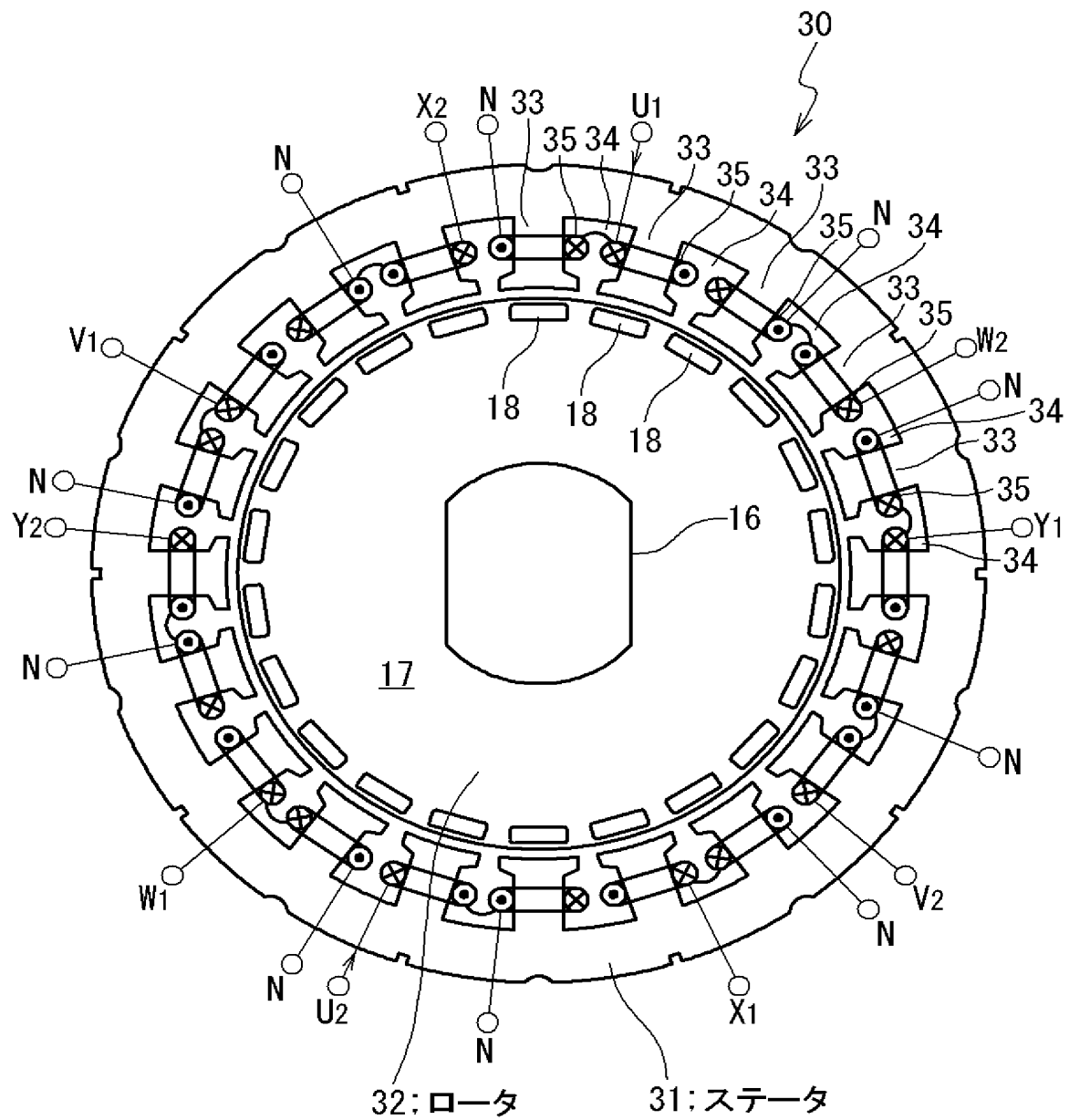
[図2]



[図3]



[図4]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/001597

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H02K21/16, 1/14, 1/22, 29/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H02K21/00, 1/00, 1/22, 29/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-153033 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 24 May, 2002 (24.05.02), Full text; all drawings	1, 2 3
Y	JP 2000-228890 A (Denso Corp.), 15 August, 2000 (15.08.00), Par. No. [0021]	3
A	JP 2003-284274 A (Nippon Steel Corp.), 03 October, 2003 (03.10.03), Par. Nos. [0011] to [0014]	1
A	JP 2003-199273 A (Toshiba Corp.), 11 July, 2003 (11.07.03), Par. Nos. [0066], [0067]	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 April, 2005 (21.04.05)

Date of mailing of the international search report

17 May, 2005 (17.05.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2005/001597

JP 2002-153033 A	2002.05.24	US 2002/0171311 A1	2002.11.21
		EP 1207616 A1	2002.05.22
		WO 01/95464 A1	2001.12.13
JP 2000-228890 A	2000.08.15	(Family: none)	
JP 2003-284274 A	2003.10.03	(Family: none)	
JP 2003-199273 A	2003.07.11	(Family: none)	

<b>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</b> Int.Cl. <sup>7</sup> H02K21/16, 1/14, 1/22, 29/00			
<b>B. 調査を行った分野</b> 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. <sup>7</sup> H02K21/00, 1/00, 1/22, 29/00			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>           日本国実用新案公報            日本国公開実用新案公報            日本国実用新案登録公報            日本国登録実用新案公報         </div> <div>           1922-1996年            1971-2005年            1996-2005年            1994-2005年         </div> </div>			
国際調査で使用了電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
<b>C. 関連すると認められる文献</b>			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
X Y	J P 2002-153033 A（三菱重工業株式会社） 2002.05.24, 全文、全図	1、2 3	
Y	J P 2000-228890 A（株式会社デンソー） 2000.08.15, 【0021】	3	
A	J P 2003-284274 A（新日本製鐵株式会社） 2003.10.03, 【0011】－【0014】	1	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <span style="float: right;"><input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</span>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</p> <p>「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</p> <p>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>の日の後に公表された文献</p> <p>「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</p> <p>「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</p> <p>「&amp;」同一パテントファミリー文献</p> </div> </div>			
国際調査を完了した日 <div style="text-align: center;">21.04.2005</div>		国際調査報告の発送日 <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">17.5.2005</div>	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） <div style="text-align: center;">尾家 英樹</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>電話番号 03-3581-1101</div> <div>内線 3358</div> </div>	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-199273 A (株式会社東芝) 2003.07.11, 【0066】、【0067】	1

国際調査報告  
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号 PCT/J P 2 0 0 5 / 0 0 1 5 9 7

JP 2002-153033 A	2002. 05. 24	US 2002/0171311 A1	2002. 11. 21
		EP 1207616 A1	2002. 05. 22
		WO 01/95464 A1	2001. 12. 13
JP 2000-228890 A	2000. 08. 15	(ファミリーなし)	
JP 2003-284274 A	2003. 10. 03	(ファミリーなし)	
JP 2003-199273 A	2003. 07. 11	(ファミリーなし)	